

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

*В статье рассмотрена возможность получения численных моделей струйных течений при использовании современных программных комплексов. Определены особенности изменения параметров струи при различных условиях истечения.*

**Ключевые слова:** *сверхзвуковые струи, граничные условия, вязкость, сопла.*

*Деліверов В.П. Розробка моделей струменевих течій у металургії. Розглянута можливість відтворення моделей струменевих течій під час використання сучасних програмних комплексів, особливості змін параметрів струменя за різних умов течій.*

**Ключові слова:** *надзвукові струмені, граничні вимоги, в'язкість, сопла.*

*V.P. Deliverov. Development of models of jet flow in metallurgy. The opportunity of reception of numerical models of jet flow is considered for the use of modern program complexes. Features of change of parameters of a jet were determined under various conditions of the flow.*

**Key words:** *supersonic jets, boundary conditions, viscosity, nozzle.*

**Постановка проблемы.** В металлургии используются различные типы дутьевых устройств, расчет истечений из которых представляет сложную задачу. На современном этапе научных исследований вычислительный эксперимент является одним из важных направлений при изучении задач аэродинамики, тепломассообмена и горения, [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** На базе университетов и исследовательских центров развиваются и создаются программы вычислительной гидрогазодинамики, позволяющие разрабатывать и апробировать новые физические модели и математические алгоритмы, а также отрабатывать методики расчета течений, при наиболее адекватном воспроизведении данных экспериментов, [2, с.91].

В настоящее время широко распространены такие программные пакеты, как CFX, FLUENT, STAR-CD, LS-DYNA, ANSYS, ABAQUS, FlowVision, MSC/NASTRAN, MSC/MARC, MAGMASOFT, SolidWorks и др.

С использованием компьютерных технологий, примеры расчетов сверхзвуковых струй, течений в металлургических агрегатах, представлены в [3]. Существует большое количество экспериментальных данных и методик для расчета до- и сверхзвуковых истечений. Это позволяет отладить компьютерные численные модели с тем, чтобы распространить их на более сложные течения и устройства, для которых нет или мало экспериментальных данных, [4, с.1].

**Цель статьи** – на основе анализа полученных результатов выявить особенности истечений, рассмотреть возможность применения для расчетов дутьевых устройств в металлургии.

**Изложение основного материала.** Для численных экспериментов использовалось сопло с длиной цилиндрической и конической части по 0.01м. Диаметр цилиндрической части 0.004м, выходной диаметр сопла 0.008м. Течение плоское, толщина 0.002м.

Для расчета использовались 3D тетраэдральные конечно-элементные сетки с одинаковой геометрией. Расчеты проводились на сетках 120000 ячеек для сопел. Для моделирования затопленных струй использовались сетки 200000-700000 ячеек. Для дополнительного контроля сходимости использовались сетки 1800000 ячеек. При таком подходе время счета одного варианта на ПК (Intel (R) Core (TM)2 Quadro CPU Q6600, 2.40GHz, 4 GB, 64bits) составляло до 120 мин.

Использовались следующие граничные условия. На входе - условие Свободный вход, дозвуковое или сверхзвуковое течение воздуха, с заданием полного давления или скорости и температуры торможения. Варьирование давления и скорости на входе позволяет изменить

\* ст. преподаватель, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

степень нерасчетности струи. На выходе – условия Свободный выход с заданием температуры и давления окружающего пространства. Давление окружающей среды 0,1МПа. Далее скорость указывается на входе в цилиндрическую часть сопла.

Моделирование течения в соплах. При изменении скоростей на входе от 180 до 500м/с видно образование и изменение системы скачков уплотнения внутри сопел (рис.1, 2, 5), что определяет значение параметров по оси сопла (рис. 3, 4).

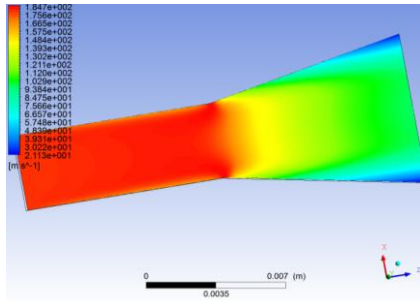


Рис. 1 – Скорость на входе 180м/с

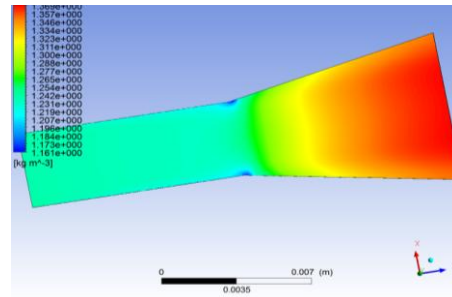


Рис. 2 – Диаграмма плотности

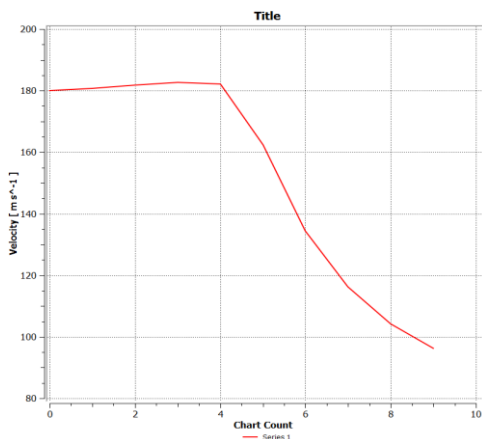


Рис. 3 – График скорости

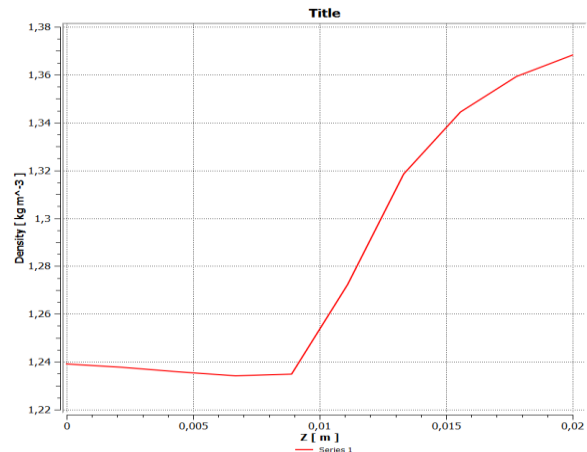
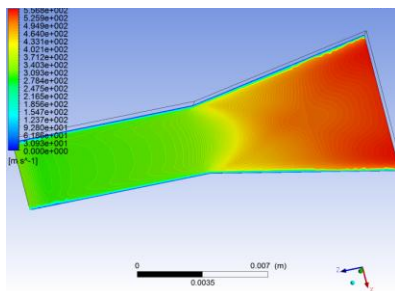
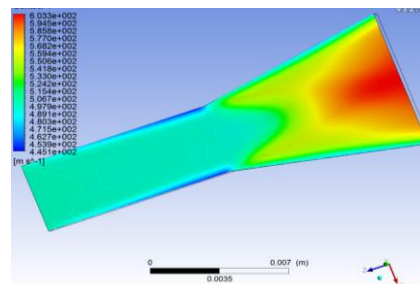


Рис. 4 – График плотности



а



б

Рис. 5 – Диаграммы скорости: а-320, б -500 м/с

Истечение затопленных струй в режиме перерасширения. Видна последовательность изменений положения сечения отрыва внутри сопел при возрастании скорости (рис. 6).

Проведено моделирование истечения воздуха из спаренных сопел. Модель истечения параллельных струй визуализирует картину интерференции полей давлений, рис. 7.

Проведено моделирование истечения струи 285м/с, в спутный поток. Характерно изменение толщины слоя смешения, утончение вязкого слоя (рис.8, 9).

Моделирование истечения сверхзвуковой струи через полый цилиндр. Скорость струи на входе 285 м/с. Скорость спутного потока 10м/с. Образование вихревых структур по течению (рис. 10).

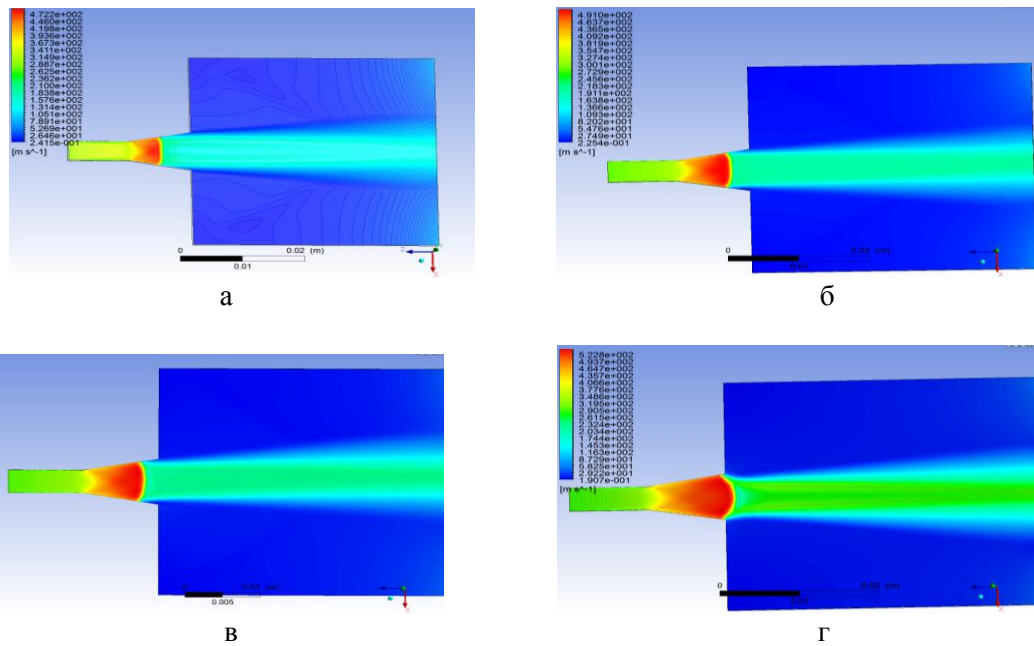


Рис. 6 – Отрыв потока. Скорости: а-276, б- 281, в-283, г-290.

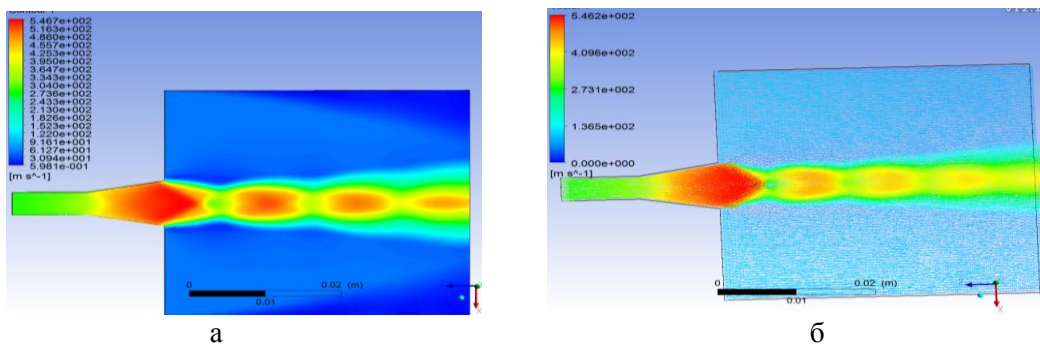
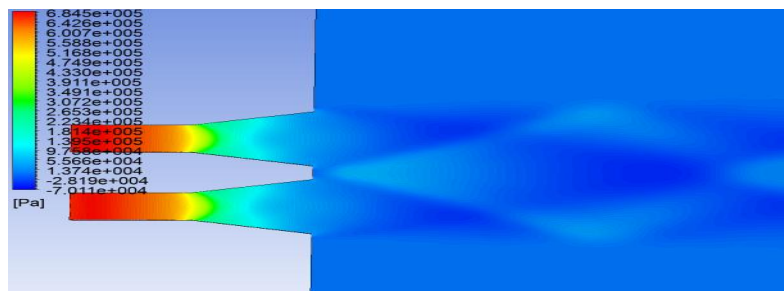


Рис. 8 – Изменение погранслоя в спутном потоке, а-скорость потока-50, б-200м/с

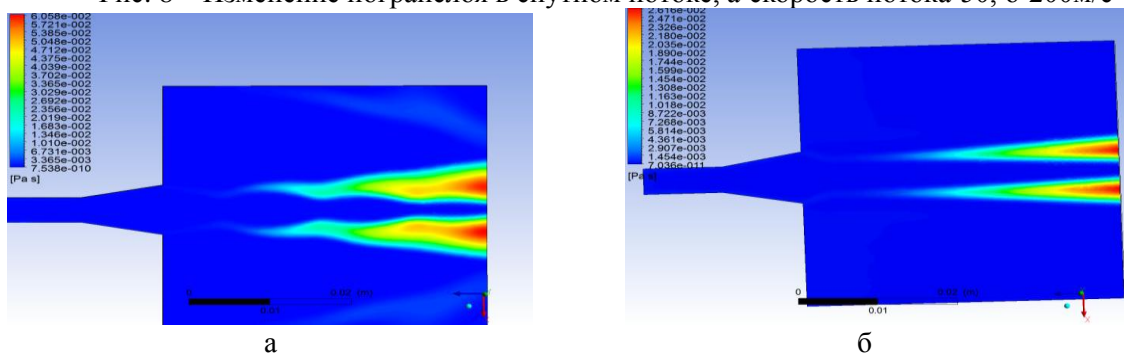


Рис. 9 – Изменение вязкости. Скорость спутного потока, а -50 м/с, б-200м/с, струи 285м/с

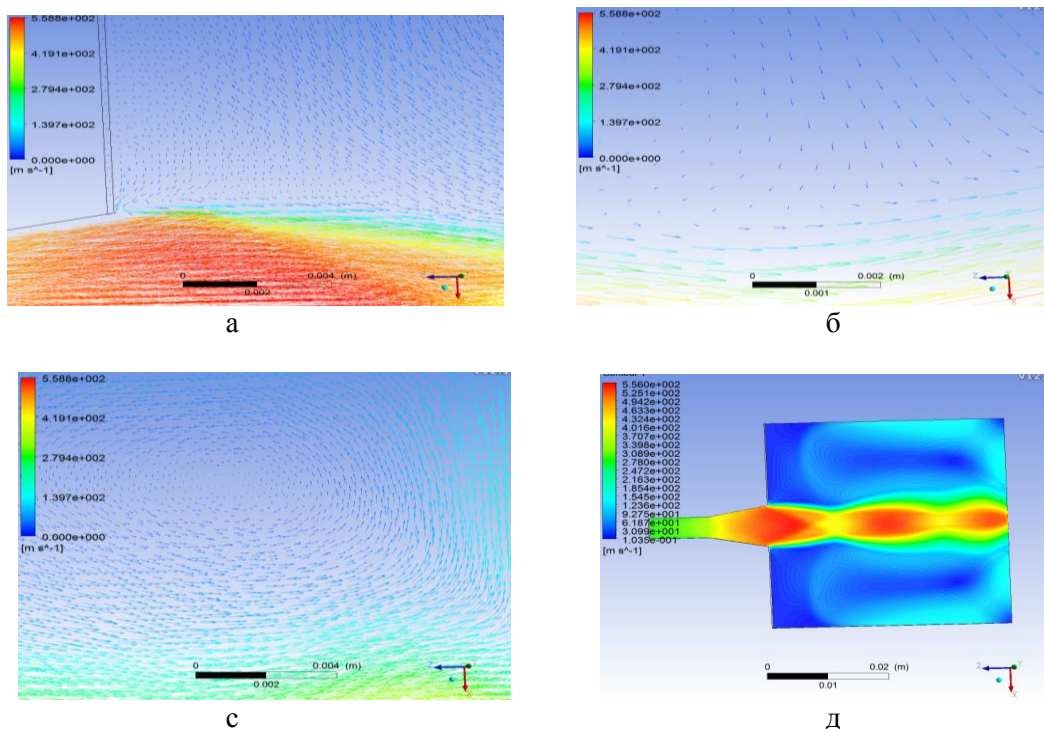


Рис. 10 – Образование вихрей, а- на входе в цилиндр, б- в среднем течении, с – на выходе, д- диаграмма скорости потока

### Выводы

1. По предложенной методике получены результаты качественного и количественного анализа течений для затопленных свободных струй, течений в соплах и течений, моделирующих элементы горелок и фурм.
2. Данные моделирования и методика могут быть использованы при расчете дутьевых устройств.
3. Данные по динамике изменения параметров ударно-волновой структуры струи, положению отрыва, вихревых структур можно использовать при проектировании, расчете, качественном анализе работы дутьевых распыляющих устройств.

### Список использованных источников:

1. Новости сайта [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://www.cae-services.ru>
2. Смирнов Е.М. Развитие и использование на кафедре гидроаэродинамики современных вычислительных средств для решения фундаментальных и прикладных проблем механики жидкости и газа. Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах. /Материалы XI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. Издательство СПбГПУ. -2007. -С.91-95.
3. Приходько А.А. Компьютерные технологии в аэрогидродинамике и тепломассообмене. – Киев. Наукова думка. -2003.-С.379.
4. Молчанов А.М. Расчет сверхзвуковых неизобарических струй с поправками на сжимаемость в модели турбулентности, CAE-Services Llc.- 2008.-С.21.

Рецензент: Е.А Капустин  
 д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 27.04.2010